

Инженерный вклад Венделя Боллмана

Роберт М. Фогель

The Engineering Contributions of Wendel Bollman

Robert M. Vogel



Электронная книга проекта "Гутенберг", посвященная инженерному вкладу Венделя Боллмана

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Инженерный вклад Венделя Боллмана

Автор: Роберт М. Фогель

Дата выхода: 20 октября 2010 [Электронная книга №33912]

Язык: Английский

Титры: Продюсерами выступили Колин Белл, Джозеф Купер, Луиза Паттисон и команда онлайн-корректоров по адресу <http://www.pgdp.net>

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА ГУТЕНБЕРГА "ИНЖЕНЕРНЫЙ ВКЛАД ВЕНДЕЛЯ БОЛЛМАНА" ***

Примечания переписчика:

Это статья 36 из Бюллетеня 240 Национального музея США Смитсоновского института, включающая статьи 34-44, которые также будут доступны в виде полной электронной книги.

Первый материал, введение и соответствующие указатели из Бюллетеня включены в каждую электронную книгу на одной бумаге.

Несоответствия в пунктуации исправлены без замечаний. Неверная расстановка переносов соответствует оригиналу.

СМИТСОНОВСКИЙ ИНСТИТУТ НАЦИОНАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ США БЮЛЛЕТЕНЬ 240



СМИТСОНОВСКАЯ ПРЕССА

МУЗЕЙ ИСТОРИИ И ТЕХНИКИ

Материалы

От

Музея

истории и

технологии

Статьи 34-44

По науке и технике

СМИТСОНОВСКИЙ ИНСТИТУТ · ВАШИНГТОН, ОКРУГ Колумбия, 1966

Публикации Национального музея Соединенных Штатов

Научные публикации Национального музея Соединенных Штатов включают две серии: "Труды Национального музея Соединенных Штатов" и "Бюллетень Национального музея Соединенных Штатов".

В этих сериях Музей публикует оригинальные статьи и монографии, посвященные коллекциям и работе входящих в его состав музеев — Музея естественной истории и Музея истории и технологий, — в которых излагаются недавно приобретенные факты в области антропологии, биологии, истории, геологии и технологии. Экземпляры каждой публикации распространяются

среди библиотек, культурных и научных организаций, а также среди специалистов и других лиц, интересующихся различными темами.

Материалы, начатые в 1878 году, предназначены для публикации в отдельном виде более коротких статей из собрания Музея естественной истории. Они собраны в тома размером в октаво, причем дата публикации каждой статьи указана в оглавлении тома.

В серии Бюллетеней, первая из которых была выпущена в 1875 году, появляются более длинные отдельные публикации, состоящие из монографий (иногда в нескольких частях) и томов, в которых собраны работы по смежным темам. Бюллетени имеют размер октаво или кварто, в зависимости от потребностей презентации. С 1902 года статьи, относящиеся к ботаническим коллекциям Музея естественной истории, публикуются в серии бюллетеней под заголовком "Материалы Национального гербария США", а с 1959 года в бюллетенях, озаглавленных "Материалы Музея истории и технологии", собраны более короткие статьи, относящиеся к коллекциям и исследованиям этого музея.

Настоящее собрание материалов, статьи 34-44, включает бюллетень 240. Каждая из этих статей ранее публиковалась в отдельном виде. Год публикации указан на последней странице каждой статьи.

Фрэнк А. Тейлор

Директор Национального музея США

Материалы Музея истории и технологий: Статья 36

Инженерный вклад Венделя Боллмана

Роберт М. Фогель

НАЧАЛО КАРЬЕРЫ⁸⁰

ФЕРМЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ БОЛЛМАНА⁸⁵

У. БОЛЛМАН И КОМПАНИЯ⁹¹

ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРМЫ БОЛЛМАНА95

ИЗВЕСТНЫХ РАБОТ БОЛЛМАНА99

БИБЛИОГРАФИЯ 104



Рисунок 1. —Вендель Боллман, К.Э.н. (1814-1884). (Фото любезно предоставлено доктором Стюартом Кристхилфом.)

Роберт М. Фогель

ИНЖЕНЕРНЫЙ ВКЛАД ВЕНДЕЛЯ БОЛЛМАНА

Развитие строительной инженерии всегда в такой же степени зависело от доступности материалов, как и от расширения теоретических концепций. Возможно, величайшим шагом в истории гражданского строительства стало внедрение железа в качестве основного конструкционного материала в 19 веке; это быстро освободило мост и здание от ограничений технологии, основанной на ограниченной прочности каменной кладки и дерева.

Вендель Боллман, инженер-строитель-самоучка из Балтимора, был первым, кто разработал систему железных перемычек для постоянного использования на американской железной дороге, став одним из пионеров, положивших начало современному периоду строительной инженерии.

Автор: Роберт М. Фогель - куратор отдела гражданского строительства в Музее истории и технологий Смитсоновского института.

Имя Венделя Боллмана сохранилось до наших дней исключительно в связи с ферменной конструкцией Боллмана, и даже в этом отношении известно лишь нескольким старшим инженерам-строителям и железнодорожникам. Можно сказать, что система ферм Боллмана, наряду с системами Уиппла и Финка, положила начало великой эпохе металлических мостов и, следовательно, непосредственно современному периоду гражданского строительства.

Мостовая ферма Боллмана, первый образец которой был построен в 1850 году, отличается тем, что является первой в мире мостовой системой, использующей железо во всех своих основных конструктивных элементах, которая постоянно использовалась на железной дороге.

Важность перехода от дерева к железу в качестве конструкционного материала и материала для строительства мостов общепризнанна, но, возможно, было бы неплохо упомянуть некоторые аспекты этого изменения.

Традиция строительства каменных мостов никогда не достигала в этой стране той силы, которую она имела в Европе, несмотря на ряд заметных исключений. Этому было несколько причин. С самого начала колонизации капитала не хватало, и это состояние сохранялось до конца 19 века и запрещало использование каменной кладки из-за чрезвычайно высоких затрат на рабочую силу и транспорт. Еще более важным экономическим соображением была скорость, с которой было необходимо расширить строительство железных дорог в годы их зарождения. В отличие от ранних английских и европейских железных дорог, которые неизменно проходили через районы с высокой плотностью населения и промышленной деятельностью и, таким образом, были уверены в значительной финансовой отдаче почти с момента выхода из строя первого рельса, Балтимор и Огайо и их современники были нацелены на совершенно иную коммерческую перспективу. Их основной бизнес заключался не столько в линейных транзакциях, сколько в перевозках между основными терминалами, разделенными большими и по большей части безлюдными пространствами. Это означало, что доход был строго ограничен до тех пор, пока линия не была практически завершена из конца в конец, и это

означало, что начало возврата первоначальных инвестиций полностью зависело от скорости изысканий, градуировки, прокладки туннелей и наведения мостов.

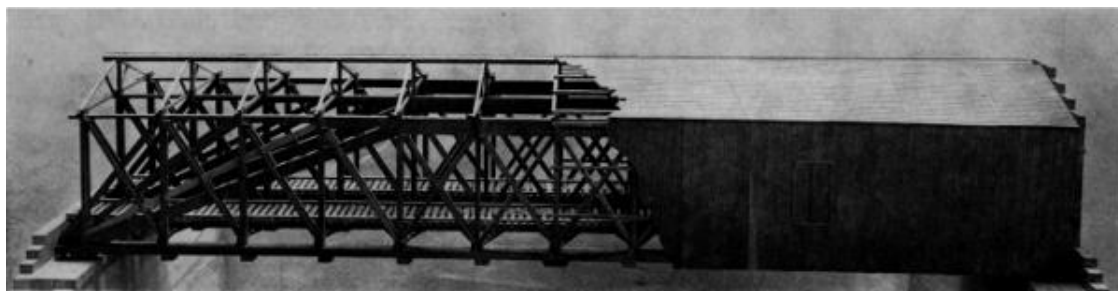


Рисунок 2. Модель фермы Б. Х. Латруба, построенной в 1838 году над рекой Патапско в Элисвилле (ныне Дэниелс), штат Мэриленд. (Фото любезно предоставлено железной дорогой Балтимора и Огайо.)

Потребность в скорости, общее истощение капитала и тот простой факт, что все первые железные дороги проходили по густо заросшим лесом районам, сделали древесину наиболее логичным материалом для мостового и другого строительства, как временного, так и постоянного.

Использование дерева в качестве мостового материала, конечно, возникло не на железных дорогах и, если уж на то пошло, не в нашей стране. Европейские страны— поросшие густыми лесами, в частности Швейцария, имели прочную традицию строительства мостов из дерева начиная с эпохи Возрождения, и, естественно, определенная часть этой техники попала в Новый Свет с колонизаторами и иммигрантами.

Система автомобильных дорог Америки была скудной примерно до того времени, когда началась сама эра железных дорог. Однако к 1812 году вдоль восточного побережья было построено несколько прекрасных деревянных мостов поистине замечательной сложности конструкции и мастерства изготовления.

Незадолго до появления железных дорог возведение шоссейных мостов в этой стране начало переходить из разряда искусства в разряд науки. И это искусство находилось в руках группы опытных, но необразованных мастеров-плотников и каменщиков, которые строили в основном на основе интуитивного чувства пропорции, напряжения и общей "приспособленности вещей". Она превратилась в точную науку под руководством небольшого числа людей, получивших образование сначала в научных и технических школах Европы, а примерно после 1820 года - в немногих учреждениях, созданных тогда в Америке, которые предлагали техническое обучение.

Увеличение числа подготовленных инженеров поначалу повлияло на строительство автомобильных мостов не столько из-за используемых материалов, сколько из-за способа их сборки. В мосту, спроектированном конструктором-самоучкой, дешевизна дерева делала вполне возможным соразмерить элементы, увеличив их до такой степени, чтобы не могло быть сомнений в их конструктивной адекватности. Опытный инженер, с другой стороны, мог бы спроектировать с точки зрения определения общей нагрузки, а затем пропорционально распределить каждый элемент в соответствии с увеличением нагрузки на него и с удельной прочностью материала.

К тому времени, когда железные дороги начали расширяться на Запад, к тому времени было накоплено достаточно опыта работы с полудюжиной практичных деревянных ферменных систем, так что не представляло особых трудностей превратить их в мосты, способные поддерживать первоначальное движение по легкорельсовому транспорту.

Несмотря на присущие ему недостатки, древесина была настолько гибкой, что почти полностью удовлетворяла потребности железных дорог в первые десятилетия их интенсивного расширения и, фактически, до сих пор находит ограниченное применение на Северо-западе.

Начало карьеры

Вендель Боллман родился в Балтиморе в семье немцев в 1814 году. Его отец был пекарем, который в том же году помогал в обороне города от англичан. Образование Вендел примерно до 11-летнего возраста более или менее традиционно получал в государственных и частных школах Балтимора. Затем он поступил в неофициальное ученичество, сначала к аптекарю в Шепердстауне, штат Вирджиния (ныне Западная Вирджиния), а затем к аптекарю в Харперс-Ферри. В 1826 или 1827 году он заболел и вернулся в Балтимор для лечения. С этого времени его образование было полностью приобретено самостоятельно.

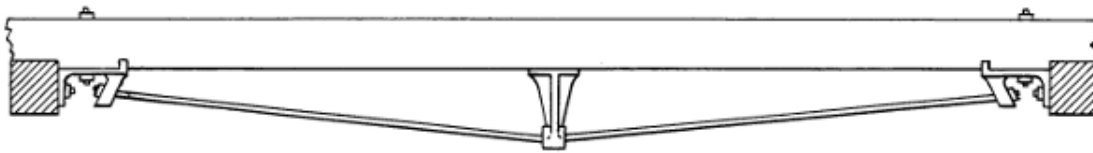


Рисунок 3. Стропильная балка.

В свете его дальнейшей карьеры интересно отметить, что четвертого июля 1828 года он вместе с другими мальчиками участвовал в процессии, которая была частью церемонии закладки краеугольного камня железной дороги Балтимор и Огайо. Вскоре после этого он на короткое время устроился подмастерьем к плотнику, но когда работа прекратилась, он получил работу в В. & О. К тому времени полоса отвода была выровнена примерно на пять миль, но ни одно ограждение не было опущено. Сначала мальчику поручали ручную работу, но вскоре он дослужился до Родмана и быстро продвинулся по службе, освоившись с геодезическим оборудованием. Осенью 1829 года он участвовал в прокладке первого пути. Поскольку его мать хотела, чтобы он продолжил свое образование в области плотницкого дела, весной 1830 года он ушел с железной дороги, чтобы снова поступить в подмастерья. Он закончил школу, стал подмастерьем, помогал строить особняк плантатора в Натчезе и вернулся в Балтимор в 1837 году, чтобы открыть собственное плотницкое дело. В следующем году, когда он строил дом в Харперс-Ферри, его попросили вернуться в В. & О., чтобы восстановить там части большого деревянного моста через Потомак, который примерно через год эксплуатации стал жертвой различных дефектов.

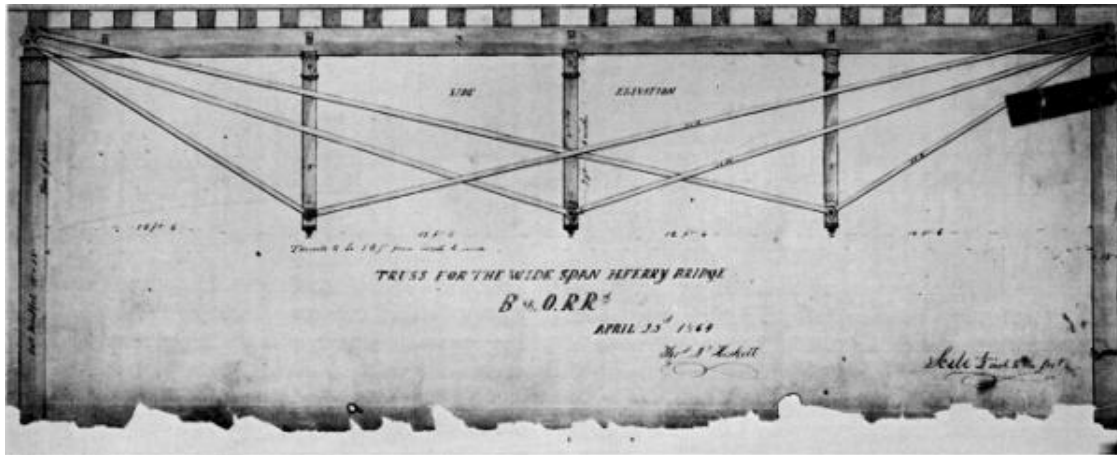


Рисунок 4.— Простая балка 50-футового пролета с тремя независимыми стропильными системами. Использование Боллманом этого метода поддержки привело к разработке его мостовой фермы. На этом рисунке изображен временный пролет, использовавшийся после разрушения деревянного моста в Харперс-Ферри во время Гражданской войны. (В коллекции Балтимора и Огайо, Музей истории и технологий.)

Вскоре после реконструкции моста Харперс-Ферри Боллман был назначен бригадиром мостостроителей. Очевидно, что на основе своих практических способностей, усиленных теоретическими знаниями, полученными в результате интенсивного самостоятельного изучения, он в конце концов стал помогать главному инженеру Бенджамину Х. Латробу в проектировании моста. Позже он полностью взял эту работу на себя, поскольку внимание и таланты Латроба были востребованы при размещении и расширении линии между Камберлендом и Уилингом.

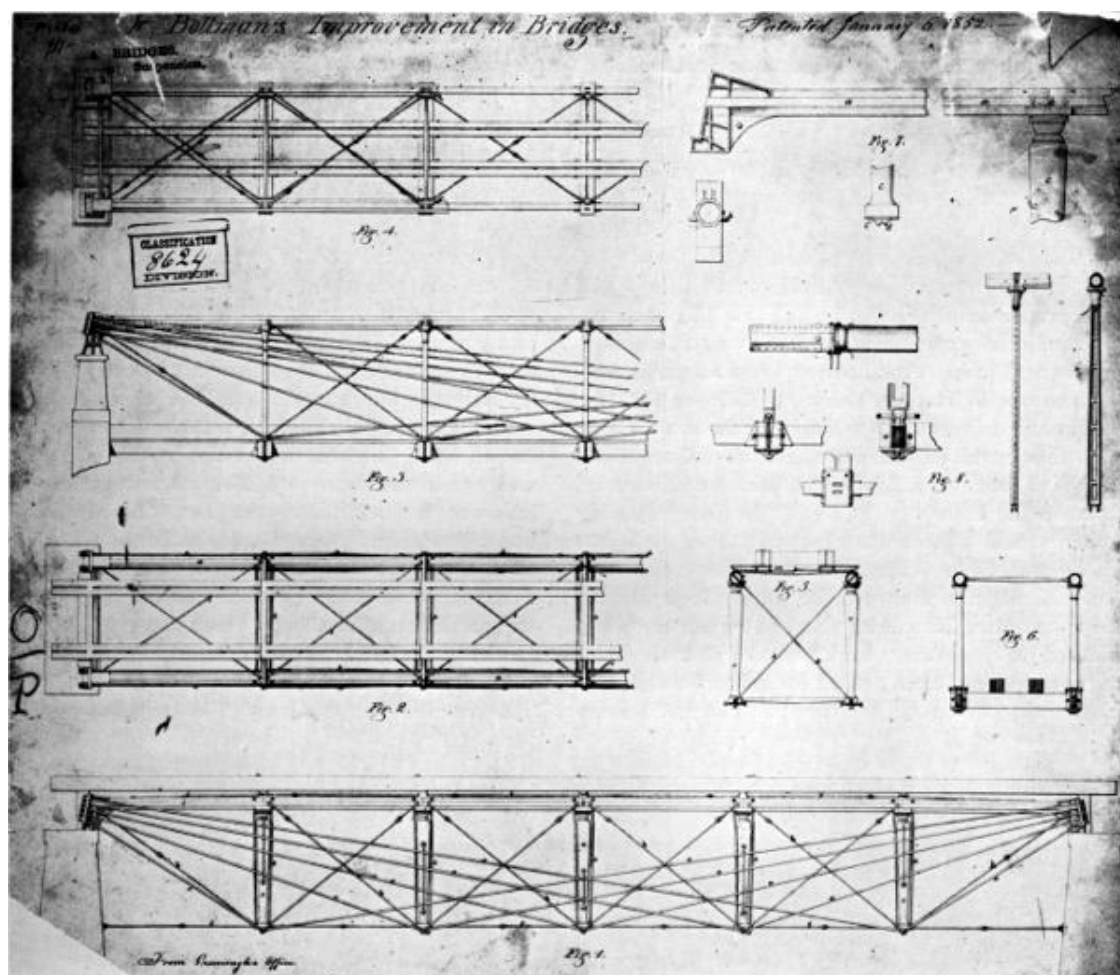


Рисунок 5. — Оригинальный патентный чертеж Боллмана, 1851 год. (В Национальном архиве, Вашингтон, округ Колумбия)

В. & О. не достигала своего логичного пункта назначения, Огайо (фактически Уилинга, Западная Вирджиния, на восточном берегу реки Огайо) до 1853 года. В годы, последовавшие за возвращением Боллмана на железную дорогу, проектирование мостов было занятием инженерного персонала, уступающим по важности только расположению самой линии. В течение этого времени Боллман продолжал расти и брать на себя все большую ответственность, в 1848 году Латроб был назначен дорожным мастером. На этой должности он отвечал за все железнодорожное имущество, которое не перемещалось, в основном за полосу отвода и ее сооружения, включая, конечно, мосты.

Признание способностей Боллмана произошло в рамках устоявшейся традиции В. & О., давно известной как первая “инженерная школа” Америки, которая спонсировала многие ранние эксперименты в области движущей силы, рельсовых путей и других фундаментальных элементов железнодорожной инженерии. Она дала средства самовыражения таким людям, как Найт, Райт, Уистлер, Латроб и Уайнанс.

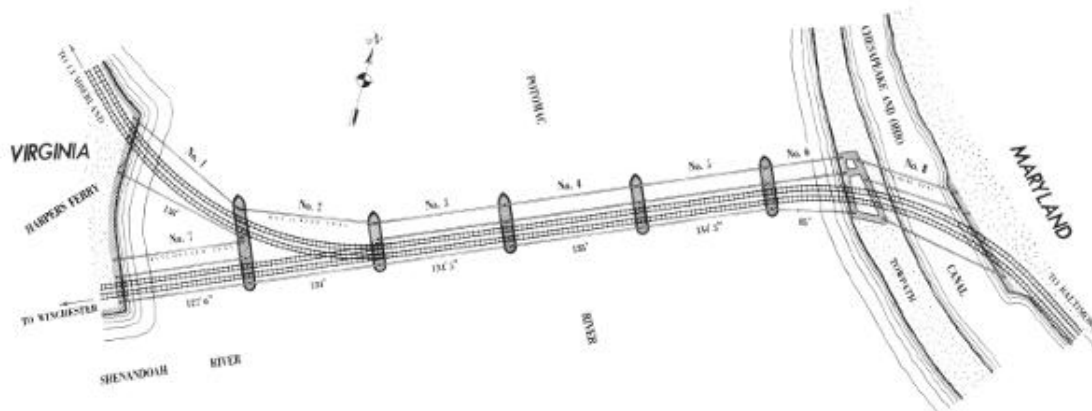


Рисунок 6.- План моста Харперс—Ферри, построенный Латробом. Второй трек Winchester позже был удален.

Некоторые из этих инженеров-строителей и механиков-первопроходцев прошли формальное обучение, но большинство были самоучками. Карьера Боллмана в В. & О. представляет особый интерес не только потому, что он был, возможно, самым успешным в последнем классе, но и потому, что он, вероятно, был и последним. Можно сказать, что он является истинным представителем переходного периода между интуитивной и точной инженерией. На самом деле, его проектирование представляло собой сочетание двух методов. Последовательно используя математический анализ, он в то же время был более или менее зависим от эмпирических методов. В течение многих лет сотрудники В. & О. рассказывали истории о его занятиях в жестяном цехе главного ремонтного предприятия железной дороги в Маунт-Клер в Балтиморе, где он строил модели мостов из обрезков металла, а затем испытывал их на разрушение, чтобы обнаружить слабые места. Однако представляется наиболее вероятным, что эмпирические исследования использовались исключительно для проверки математических данных.

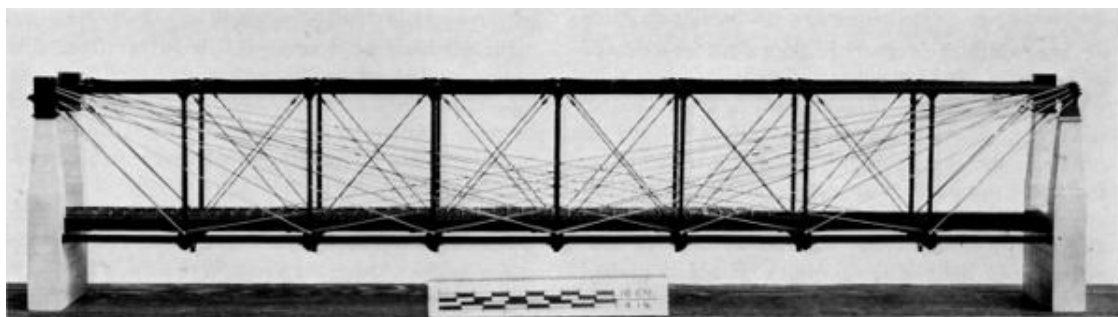


Рисунок 7.—Новейшая модель пролетного строения Винчестера Боллмана. Показаны только две из трех линий ферменной конструкции. Модель основана на опубликованном Боллманом описании и чертежах конструкции. (USNM 318171; Смитсоновский институт, фото 46941.)

В период, когда Боллман начал проектировать — примерно в 1840 году — в стране было менее десяти человек, проектировавших мосты с помощью научно обоснованных аналитических методов, Уиппл и Реблинг были наиболее известными представителями этой группы. К 1884 году, году смерти Боллмана, эпоха интуитивного дизайна отошла в прошлое на десятилетие или даже больше.

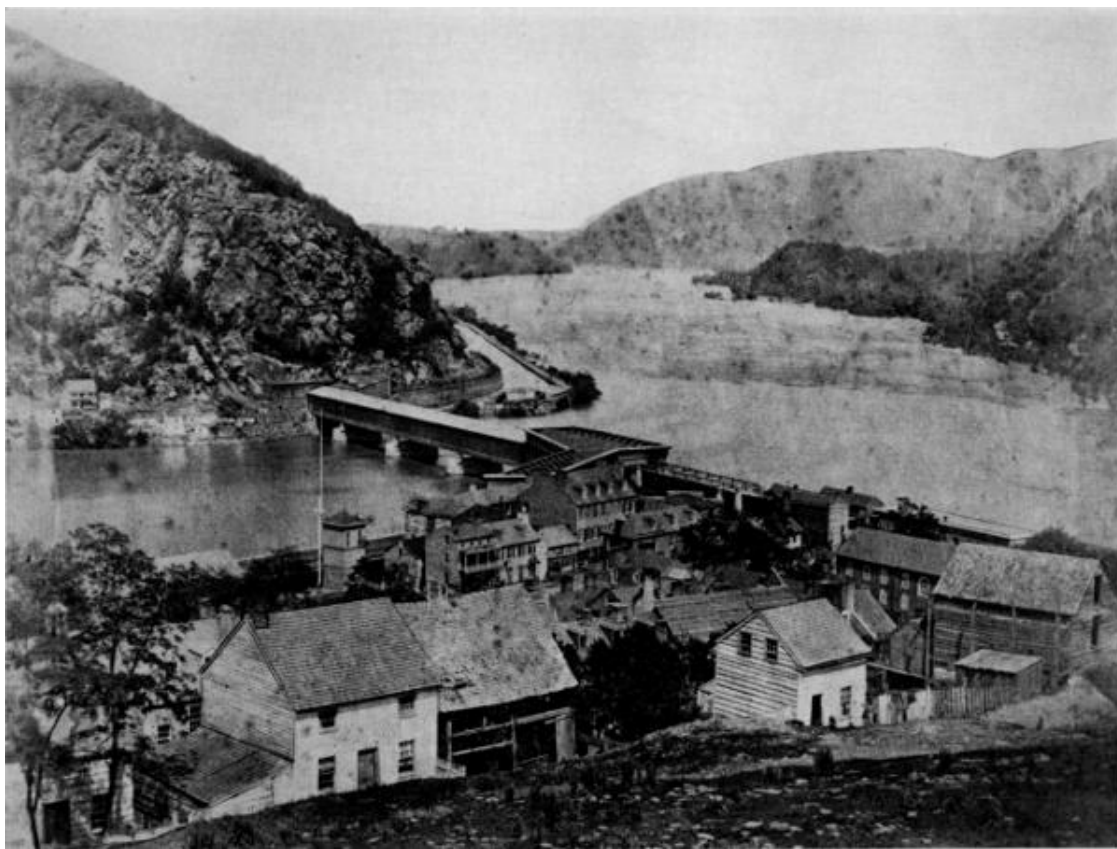


Рисунок 8. Переправа через реку Потомак железных дорог Балтимора и Огайо в Харперс-Ферри, около 1860 года. Железный “Винчестерский пролет” Боллмана 1851 года постройки виден на правом конце деревянной конструкции Латрובה 1836 года постройки, которая образует остов моста. (Фото любезно предоставлено Национальным историческим парком Харперс-Ферри.)

В. & О. была во всех отношениях поистине пионерским предприятием. Это была первая практическая железная дорога в Америке; первым был использован американский локомотив; первым был пересечен Аллеганский хребет. Дух инноваций поощрялся директорами железной дороги с самого начала. Вряд ли могло быть иначе в свете элементарной смелости проекта.

Первые несколько крупных мостов за отправной точкой линии на Прайт-стрит в Балтиморе были довольно сложной каменной кладки, но это может быть объяснено сознанием проектировщиками значимости железной дороги и их стремлением к постоянству. Однако вышеупомянутые экономические факторы вскоре сделали очевидной необходимость отказа от этой системы, и с тех пор древесина использовалась для большинства протяженных участков линии до Харперс-Ферри и далее. Только самые незначительные водопропускные трубы и короткие пролеты, да и те только в местах вблизи подходящих карьеров, были построены из камня.

В дополнение к экономическим соображениям, которые побудили компанию вернуться к использованию древесины для основных мостов, было несколько ситуаций, в которых каменная кладка была непригодна по практическим соображениям. Если бы каменные арки использовались в местах, где уклон трассы проходил на относительно небольшом расстоянии над поверхностью пересекаемого ручья, потребовалось бы несколько коротких арок, чтобы избежать образования очень плоской одиночной арки. В арочном строительстве, чем меньше

сегмент круга, представленный аркой (то есть чем более плоская арка), тем больше напряжение в арочном кольце и возникающая в результате горизонтальная нагрузка на опоры.



Рисунок 9. Косой мост Боллмана в Элисвилле (ныне Дэниэлс), Мэриленд, построен в 1853-1854 годах. (Фото любезно предоставлено Историческим обществом Мэриленда.)

Опоры для многочисленных арок, необходимые для обеспечения оптимального подъема относительно пролета, представляли бы собой опасное ограничение стока ручья во время наводнения. При использовании деревянных ферм такие переходы можно было бы сделать в один или два пролета, максимум с одним опорным пунктом в ручье, что позволило бы избежать проблемы.

Основные деревянные мосты на западе вплоть до Камберленда были построены по проекту Латроба. Это были хорошие, прочные конструкции из композитных материалов, в которых определенное количество чугуна использовалось в соединениях и кованого железа для определенных натяжных элементов. Однако они были скорее эмпирическими, чем эффективными, и, по большей части, не только сильно перегружены дизайном, но и имели явно сложную конструкцию.

Однако что интересно в латробийских деревянных фермах, так это то влияние, которое они, по-видимому, оказали на последующую работу Боллмана по проектированию его собственной фермы. Об этом эффекте свидетельствует заметная аналогия между основными конструктивными элементами двух типов. Решетчатая ферма в Элисвилле (рис. 2) был лишь частично ферменной конструкцией, поскольку большая часть нагрузки не передавалась от панели к панели, что в конечном итоге проявлялось на опорах как чисто вертикальная реакция, а передавалась от каждой панели (кроме четырех в центре) непосредственно к точкам опоры с помощью тяжелых диагональных стоек, по образцу знаменитых швейцарских ферм 18 века Грубенманнов. Это было законное структурное устройство и простейшее средство расширения пропускной способности связующей системы. Однако он был неисправен в том смысле, что распорки придавали значительную горизонтальную нагрузку на опоры, что требовало более тяжелой кладки, чем было бы необходимо в противном случае.

Вполне вероятно, что Латроб не испытывал абсолютного доверия к различным чистым стропильным системам, уже запатентованным Тауном, Лонгом и другими, и предпочитал для таких стратегических целей структуру, в которой члены комиссии действовали более или менее

независимо друг от друга. Будет видно, что аналогичным образом нагрузки от отдельных панелей в ферме Боллмана передавались к концам рамы элементами, действующими независимо друг от друга.

Ферменная конструкция Боллмана

Никогда не возникало никаких сомнений по поводу многих серьезных недостатков дерева в качестве мостового материала. Опасность разрушения и пожара, которая всегда присутствовала, была основной, что требовало постоянных расходов на замену неисправных элементов и дежурство при пожаре. На самом деле руководство и инженерный персонал В. & О. понимали, что их деревянные мостовые пролетные строения, хотя и считались лучшими в стране, были более или менее пригодны и в конечном итоге подлежали замене. В этой связи неудивительно, что Латроб, человек весьма дальновидный, в свое время серьезно задумался о возможном применении железа здесь.



Рисунок 10. — Пересечение рек Потомак, Балтимор и Огайо, в Норт-Бранч, Мэриленд, построено в 1856 году. Имеются три фермы палубы Боллмана. (Фото любезно предоставлено железной дорогой Балтимора и Огайо.)

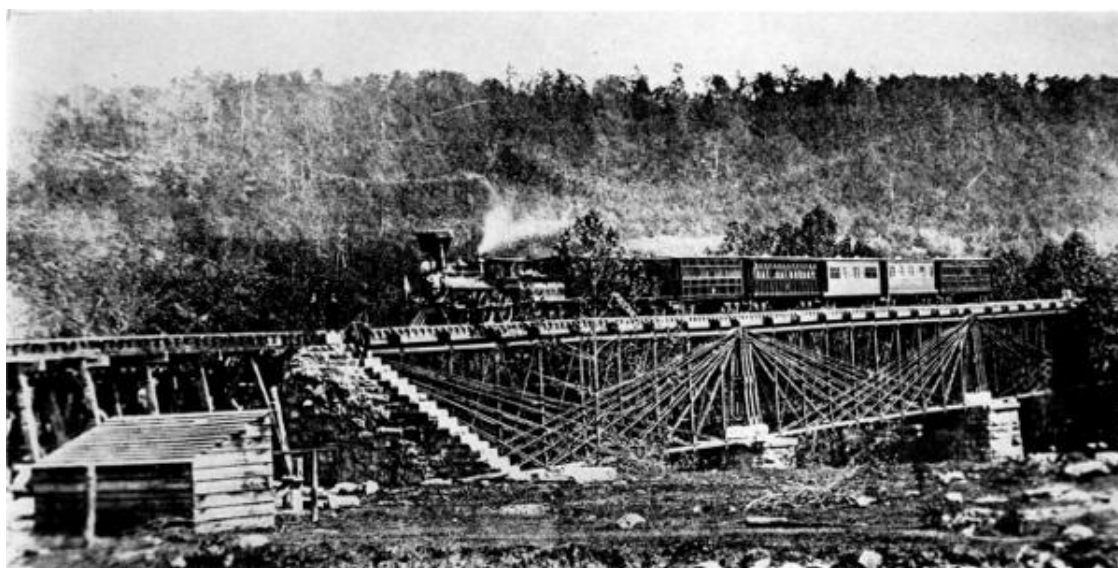
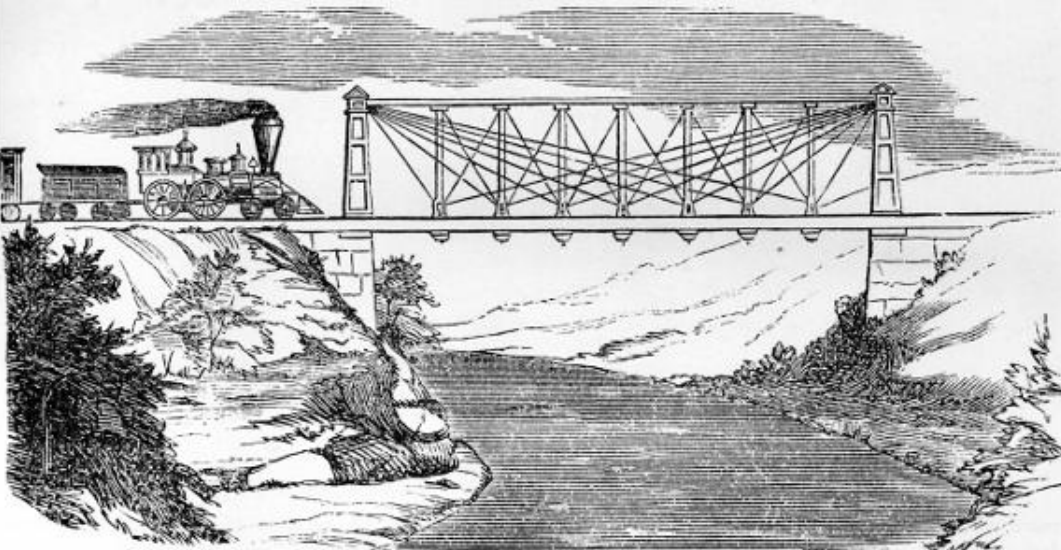


Рисунок 11.—Ферма Финка. (Смитсоновский институт, фото 41436.)

WENDEL BOLLMAN'S

Patent Iron Suspension Railroad Bridge.



The undersigned would inform the officers of Railroads and others, that he is prepared to furnish Drawings and Estimates for Bridges, Roofs, etc., on the plan of Bollman's Patent.

The performance of these bridges, some of which have been in use for six years, has given entire satisfaction. Their simplicity of construc-

tion renders repairs easy and cheap, and by a peculiar connection of the Main and Panel Rods at the bottom of the Posts, all danger from the effects of expansion, which has heretofore been the chief objection to Iron Bridges, is entirely removed.

J. H. TEGMEYER,
Baltimore, Md.

Рисунок 12.—Объявление в *Railroad Advocate*, август 1855г.

Первый в мире крупный железный мост, знаменитая чугунная арка в Коулбрукдейле, Англия, был построен в 1779 году. За его возведением последовал довольно спорадический интерес к такому использованию материала. Первое значительное применение железа в этой стране было применено в серии небольших шоссейных арок, возведенных сквайром Уипплом над каналом Эри в начале 1840-х годов, более 60 лет спустя. В них, как и в большинстве более ранних железных конструкций, основной опорой была чугунная арка. Тяге арок противодействовали открытые кованые соединения с другими коваными и чугунными элементами, способствующими действию фермы.

"Уиппл бриджес" вызвали определенный интерес к материалу. В годовом отчете В. & О. за 1849 финансовый год появляется первое свидетельство заинтересованности Латроба в этом важном вопросе. В послании президента содержится следующее, довольно бесцеремонное заявление:

6 183,19 долларов было израсходовано на обновление Каменных мостов на ветке Вашингтон-Бранч, унесенных наводнением 7 октября 1847 года. Ведется подготовка и заключены контракты на реконструкцию больших мостов в Литтл-Патуксенте и в Бладенсбурге, которая будет завершена через несколько месяцев.... Предлагается возвести Железную надстройку на каменных устоях, в каждом месте - с увеличенным пролетом, для большей безопасности от будущих наводнений.

Интересно отметить, что президент железной дороги действительно имел в виду фермы Боллмана. Насколько раньше этой даты Боллман разработал свою своеобразную систему ферм, неясно. Упоминалось определенное влияние системы ферм Latrobe с радиальными стойками. Вероятно, это повлияло на другой базовый метод, обычно используемый для увеличения грузоподъемности простой деревянной балки — использование ферменной конструкции, то есть размещение под балкой железного стержня, который был закреплен на концах балки и удерживался на определенном расстоянии под ней в центре с помощью вертикальной стойки. Таким образом, эта комбинация превратилась в ферму, поскольку часть древесины больше не подвергалась напряжению изгиба, а просто сжатию, а стержень поглощал растягивающее напряжение комбинации. Результатом было углубление балки, увеличение расстояния между ее крайними волокнами и — за счет уменьшения изгибающего момента — уменьшение напряжения в них (см. рис. 3).



Рисунок 13. — Четыре пролета Боллмана в Харперс-Ферри, пережившие Гражданскую войну. Строительство пролетов было завершено в 1862-1863 годах. (Фото любезно предоставлено железной дорогой Балтимора и Огайо.)

Очевидно, Боллману пришло в голову, что, увеличив количество стержней в продольном направлении, этот эффект можно было бы практически усилить до такой степени, чтобы он мог распространяться на значительные расстояния. Почти наверняка сначала он рассматривал не цельнолитую систему, а скорее составную, подобную описанной. Вполне вероятно, что такие стропильные балки с несколькими системами натяжных стержней использовались Боллманом в качестве перемычек во временных эстакадах вдоль линии еще в 1845 году (см. рис. 4).

Невозможно сказать, сам ли Боллман или Латроб были поражены логикой дальнейшей доработки системы и, одновременно, заменой деревянного компрессионного элемента на чугунный. Естественно, для изготовления элемента, выдерживающего напряжение сжатия, был выбран чугун, поскольку он был значительно дешевле кованого железа. Но что еще более важно, в то время кованое железо не было доступно в формах достаточной площади сечения, чтобы противостоять значительным напряжениям потери устойчивости, возникающим в длинномерных элементах сжатия. Стоимость наращивания элементов до достаточного размера из очень ограниченного выбора небольших форм, которые затем прокатывались, была бы непомерно высокой.

Стропильные стержни, подвергнутые растягиванию, были изготовлены из кованого железа, поскольку площадь сечения должна была быть достаточной только для того, чтобы выдерживать первичное осевое напряжение.

Первая цельнолитая ферма Боллмана была построена над рекой Литтл-Патуксент на фабрике Сэвидж, недалеко от Лорела, штат Мэриленд, в 1850 году. В отчете главного инженера за 1850 год Латроб смог заявить, что строительство фермы было завершено и доставляло “большое удовлетворение”. Далее он довольно подробно похвалил “ценные механические характеристики”, воплощенные в нем, и выразил большую уверенность в том, что железо станет таким же важным материалом в области гражданского строительства, как и в машиностроении.



Рисунок 14.— Мост Харперс-Ферри, построенный после Гражданской войны. До 1894 года он использовался Балтимором и Огайо, а до 1936 года - как шоссейный мост. (Фото 690, Коллекция Балтимора и Огайо, Музей истории и технологий.)

Стоимость этого первого крупного моста Боллмана составила 23 825,00 долларов. Его пролет составлял 76 футов. Доверие Латроба оправдалось. *Savage span* и еще один в Бладенсбурге можно считать успешными пилотными моделями, поскольку, несмотря на определенное скрытое недоверие к железным мостам в инженерной среде — в основном из—за ряда неудач из-за неправильно спроектированных пролетных строений - Латроб считал, что есть достаточные основания для безоговорочного использования железа во всех последующих крупных мостовых сооружениях на В. & О.

Почти сразу после завершения строительства моста Сэвидж Боллман приступил к проектированию замены большого пролета реки Патапско в Элисвилле (ныне Дэниэлс), штат Мэриленд, и так называемого Винчестерского пролета самого большого и важного моста В. & О. через Потомак в Харперс-Ферри. Мост Харперс-Ферри, деревянное сооружение, было спроектировано Латробом и построено в 1836-1837 годах известным мостостроителем Льюисом Вернвагом. Это было необычно тем, что недалеко от побережья Вирджинии была развилка, по которой от Винчестера отходила вспомогательная дорога (см. рис. 6). Только единственный пролет на этой линии, расположенный между стрелкой на середине реки и берегом, подлежал замене, поскольку остальные семь пролетов моста были практически реконструированы за десятилетие или около того своей истории и на тот момент находились в исправном состоянии.

Пролет Винчестера (рис. 8), который был первой фермой Боллмана, воплотившей в себе достаточную проработку деталей, чтобы считаться прототипом, был завершен в 1851 году. Боллман чрезвычайно гордился своей работой, и, можно сказать, с полным основанием. 124-футовый пролет был изготовлен в обширных мастерских железной дороги Маунт-Клер. Он был разделен на восемь панелей семью стойками и семью парами ферменных стержней. Интересным отличием этого пролета от последующих мостов Боллмана было использование гранита, а не чугуна для башен. Пролет состоял из трех параллельных линий ферменной конструкции для прокладки общей дороги в дополнение к однопутной линии Винчестер лайн.

Отличительной особенностью системы Bollman была ранее упомянутая серия диагональных ферменных звеньев в сочетании с чугунным компрессионным поясом, который Bollman назвал “растяжителем”. Расстояние между хордой и местом соединения каждой пары звеньев поддерживалось вертикальной стойкой или распоркой, также отлитой.



Рисунок 15.—Мост Норт-стрит (ныне Гилфорд-авеню), Балтимор. В этой переходной составной конструкции чугун использовался только на относительно коротких участках верхней хорды. Для длинных несущих элементов системы полотна стандартные уголки и швеллеры из кованого железа были собраны в большую секцию. Декоративные чугунные торцевые стойки были неконструктивными. (Фото из коллекции Л. Н. Эдвардса, Музей истории и технологий.)

Большая привлекательность этой конструкции, несомненно, заключалась в ощущении безопасности, вытекающем из того факта, что каждая из систем действовала независимо, переносила свою нагрузку на опоры. Нижние пояса, фактически нефункциональные в первичной конструкции, были включены просто для того, чтобы сохранить надлежащее продольное

расстояние между нижними концами стоек. Системе был присущ определенный недостаток жесткости из-за той самой неравномерности, которая характеризовала ее действие; однако это было компенсировано парой легких диагональных опорных стержней, пересекающих каждую панель. Эти стержни выполняли дополнительную функцию распределения концентрированных нагрузок на соседние стойки, во многом наподобие перемычек между балками перекрытия в здании.

В винчестерском пролете система перекрытий была выполнена из дерева по соображениям экономии. Это было очень незначительным недостатком, поскольку любую палку можно было быстро заменить, не нарушая функционирования конструкции. Боллман получил патент на свою ферму в январе 1852 года и в том же году опубликовал брошюру, описывающую его систему в целом и пролетное строение Харперс-Ферри в частности. Здесь он впервые называет это “подвесным и ферменным мостом”, что действительно является точным обозначением системы, которая не является строго ферменной конструкцией, поскольку у нее нет активного нижнего пояса. (Аналогия с подвесным мостом вполне очевидна, каждая пара основных стержней сравнима с подвесным тросом.) Впоследствии изобретение Боллмана обычно называли подвесной фермой.

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЫ

Публикация Боллмана 1852 года была широко распространена у нас и за рубежом и с уважительным интересом изучалась инженерами. Чертежи конструкции были скопированы в ряде ведущих технических журналов Англии и Германии. Хотя нет никаких записей о том, что этот тип когда-либо воспроизводился в Европе, не может быть никаких сомнений в том, что это успешное конструктивное использование железа самой известной железной дорогой в Соединенных Штатах и его одобрение инженером со статусом Латроуба дали большой толчок всеобщему принятию материала. Это влияние, безусловно, было равно влиянию трубчатого железного моста Стивенсона 1850 года через пролив Менай или подвесного моста Реблинга из железной проволоки 1855 года через ущелье Ниагара. Дизайн Боллмана оказал, возможно, еще большее влияние, поскольку В. & О. немедленно запустила систему с большой энергией и в большом количестве для замены деревянных пролетных строений; с другой стороны, конструкция Реблинга никогда не дублировалась на железной дороге, а конструкция Стивенсона - только один раз.

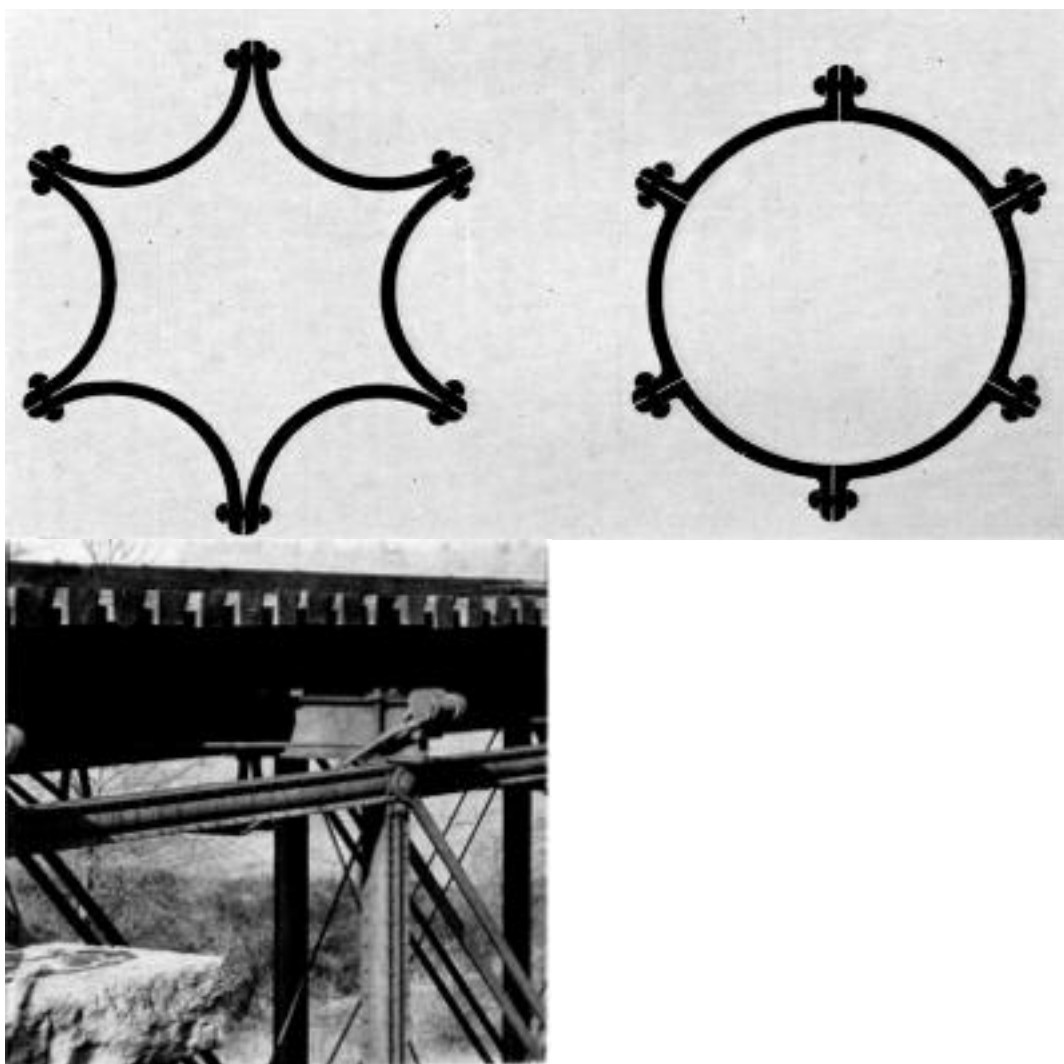


Рисунок 16.—*Слева: предполагаемое сечение сегментарной колонны из кованого железа Боллмана, около 1860 года, и секция стандартной колонны Phoenix; справа: колонна Phoenix, используемая в компрессионных элементах ферменных мостов.*

ОЦЕНКА ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

К концу 1850-х годов железо прочно зарекомендовало себя в качестве мостового материала во всем мире. Как только прежние опасения по поводу железа были утихомирены и внимание инженеров было направлено на интерпретацию существующих и новых методов соединения пролетных строений с металлом, ферма Боллмана начала несколько страдать от сравнения. Хотя его компоненты были просты в изготовлении, а анализ и конструкция - незамысловаты, он был менее экономичен в расходовании материала, чем более традиционные панельные фермы, такие как Pratt и Whipple. Кроме того, в нижних поясах и скобах было необходимое количество вторичного металла, необходимого для стабильности и жесткости.

Фактором, который трудно оценить, является обращение Боллмана с его патентом, который был продлен в 1866 году. Имеется достаточно доказательств, чтобы сделать вывод, что он считал патент ценным, поскольку он был основан на продуманном дизайне. Поэтому он, вероятно, установил высокую лицензионную плату, которая, учитывая другие недостатки фермы, была

достаточной, чтобы препятствовать ее использованию другими железными дорогами. Как покровитель, В. & О., естественно, имела полные права на его использование.

Дополнительный дефект, признанный даже Боллманом, возник из-за неодинаковой длины звеньев в каждой группе, кроме центрального. Это приводило к неравномерному тепловому расширению и сжатию каркаса, в результате чего перемычки было трудно регулировать. Это имело практический эффект, фактически ограничив систему промежуточными пролетами длиной примерно до 150 футов. Для более длинных пролетов В. & О. использовала ферму другого помощника Латроба, родившегося в Германии и получившего техническое образование Альберта Финка.

Ферма Fink была разработана одновременно с Bollman's и конструктивно была очень похожа, представляя собой подвесную ферму без нижнего пояса. Принципиальным отличием была симметрия плана Финка, которая была достигнута за счет переноса нагрузок на отдельные панели от точек панели ко все более длинным блокам панелей, прежде чем они появятся на концевых опорах. Это устранило слабость из-за неравных напряжений. Конструкция была в основном более рациональной, и ее стали широко использовать в пролетах до 250 футов, обычно в виде ферменной конструкции палубного типа (см. рис. 11).

У. Боллман и Компания

Боллман уволился из Балтимора и Огайо в 1858 году, чтобы основать вместе с Джоном Х. Тегмейером и Джоном Кларком, двумя своими бывшими помощниками по бизнесу, мостостроительную фирму в Балтиморе, известную как W. Bollman and Company. По-видимому, это была первая организация в Соединенных Штатах, которая спроектировала, изготовила и возводила железные мосты и сооружения, став пионером в том, что 25 лет спустя превратилось в огромную отрасль промышленности. Фирма была основана, по крайней мере, в 1855 году, когда в нескольких железнодорожных журналах под именем Тегмейера появились рекламные объявления о предоставлении проектов и сметы для мостов Боллмана (см. рис. 12).

Отделение Боллмана от В. & О. не было полным. Железная дорога продолжила свою программу замены деревянных мостов фермами Боллмана и заключила контракт с У. Боллманом и компанией на проектирование и определенный объем изготовления. Существует некоторая вероятность того, что в конечном итоге производство было полностью прекращено на Mount Clair, а все детали впоследствии закуплены у Bollman.

Фирма процветала, построив ряд крупных железнодорожных мостов в Мексике, на Кубе и в Чили. Операции были прекращены с 1861 по 1863 год из-за сложных условий военного времени в приграничном городе Балтимор. После этого Боллман вернулся к работе в качестве единоличного владельца завода Patapsco Bridge and Iron Works.

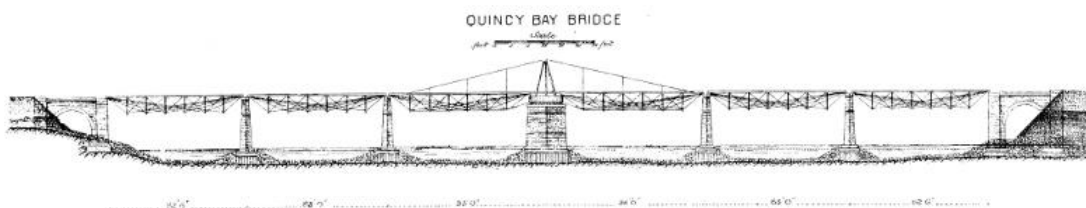


Рисунок 17. — Железнодорожный мост Чикаго, Берлингтона и Куинси через залив Куинси (ответвление реки Миссисипи) в Куинси, штат Иллинойс. Поворотный подъемный пролет был образован из двух ферм палубы Боллмана, поддерживаемых на своих внешних концах свинцовыми цепями. Мост был построен в 1867-1868 годах компанией Detroit Bridge and Iron Co., лицензиатом Bollman. (Кларк, *Рассказ о Железном железнодорожном мосте ... в Куинси, Иллинойс.*)

Наиболее примечательной из работ Боллмана в этот период была серия пролетных строений в Харперс-Ферри. Деревянный мост Б. И О. был разрушен войсками Конфедерации в июне 1861 года, и после этого переправа была произведена по временным эстакадам. Это было постоянным источником проблем, с продолжающимися перебоями в подаче электроэнергии из-за паводка, размывов и военных действий. Раздражение и расходы, связанные с этим, стали настолько велики, что компания решила рискнуть построить железный мост на переправе. В июле и августе 1862 года были завершены две секции фермы Боллмана, пролеты № 4 и № 5. Поскольку это произошло в то время, когда "У. Боллман и компания" не работала, сооружение было произведено в Маунт-Клэр по проекту Боллмана и, несомненно, возведено под его руководством. Пять недель спустя, 24 сентября, они и знаменитый винчестерский пролет Боллмана 1851 года были взорваны конфедератами, и работа линии снова была отдана на откуп эстакадам.

Дух администрации В. & О., похоже, действительно был непоколебим, когда перед лицом таких душераздирающих неудач она решила снова перекинуть через реку железный мост, даже в разгар военных действий. В ноябре был возведен пролет № 5, а к апрелю 1863 года также № 3, 4 и 6. Это были четыре прямых пролета на середине реки между "широким" (или "ответвлением", или "уай") пролет и пролет на берегу Мэриленда над каналом Чесапик и Огайо (см. рис. 13). Хотя система деревянных перекрытий этих пролетов была сожжена по стратегическим соображениям американскими войсками позже в 1863 году, они пережили войну.

В 1868 году оставшиеся эстакады были заменены фермами Боллмана. Это великолепное сооружение служило железной дороге до 1894 года, когда в Харперс-Ферри была перестроена полоса отвода. Однако половина общей дороги использовалась до тех пор, пока ее не унесло катастрофическое наводнение в 1936 году. Опоры все еще можно увидеть.

В предвоенные годы компания Bollman разработала чрезвычайно важную конструкцию, которая обычно ассоциируется с Phoenix Iron Works и ее основателем Сэмюэлем Дж. Ривзом. При возведении высокого эстакадного виадука для Гаванской железной дороги Боллман, по-видимому, был обеспокоен слабостью чугуна при растяжении при использовании в длинных колоннах без опоры. Хотя колонна обычно подвергается сжимающим напряжениям, когда коэффициент гибкости, то есть длина, деленная на радиус вращения поперечного сечения, становится большим, может возникнуть вторичное изгибающее напряжение. Если это напряжение становится достаточно большим, величина растягивающего напряжения на одной стороне колонны может фактически превысить основное напряжение сжатия, и в результате возникает суммарный эффект растяжения.



Рисунок 18. — Пересечение рек Балтимор и Огайо в Бенвуде, Западная Вирджиния, завершено в 1870 году. Фермы палубы Боллмана использовались на подходах с обеих сторон. (Фото 693, Коллекция Балтимора и Огайо, Музей истории и технологий.)



Рисунок 19. Пересечение реки Патапско между Балтимором и Огайо между Тислом и Илчестером, штат Мэриленд. (Фото 695, Коллекция Балтимора и Огайо, Музей истории и технологий.)

Как уже упоминалось, немногие доступные формы из проката имели относительно небольшую площадь и совершенно непригодны для использования в качестве колонн, если их не комбинировать и не изготавливать сложным способом. Обычной практикой в то время было использование литых компрессионных элементов в железных мостах и конструкциях, площадь

сечения которых была настолько пропорциональна длине, что состояния растяжения не могло существовать. В случае с длинными элементами это, естественно, означало, что было использовано чрезмерное количество материала.

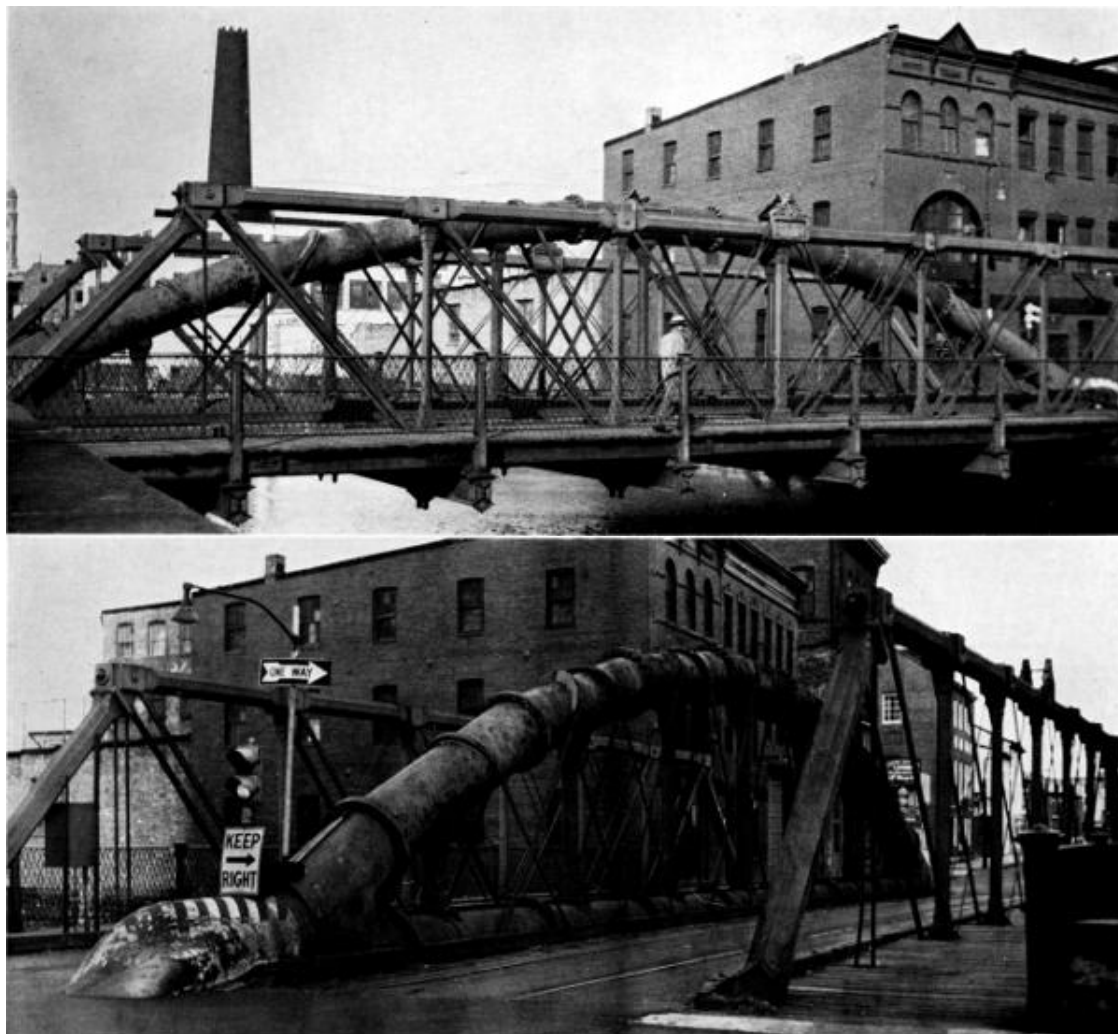


Рисунок 20. — Два вида построенной Боллманом "водопроводной фермы", которая перекидывает Ломбард-стрит через водопад Джонс в Балтиморе. Построен в 1877 году.

Боллман знал об этой проблеме из своего опыта работы с подрамниками и распорками своей фермы, и он, должно быть, осознавал огромное преимущество, которое было бы получено при практическом методе формования таких элементов из ковального железа, сопротивление растяжению которого эквивалентно сопротивлению сжатию. В конце концов он разработал предшественницу того, что стало известно как форма Феникса, изготовив специальные сегментные формы из ковального железа, прокатанные Morris, Tasker and Company из Филадельфии, эти формы были объединены в круглое сечение с выступающими выступающими фланцами для склепывания. Теоретически круглое сечение наиболее эффективно выдерживает сжимающую нагрузку. Колонну любого требуемого диаметра можно изготовить простым увеличением количества сегментов, индивидуальный размер которых никогда не превышает производительность современного прокатного стана (см. рис. 16).

Дизайн демонстрирует вдохновляющее сочетание функционального совершенства и простоты, которое, по-видимому, характеризует большинство великих изобретений.



Рисунок 21. Мост Харперс-Ферри ближе к концу своего существования, через Потомак проходит общая дорога. Самая западная линия ферм и пролет № 1 были демонтированы задолго до этого. Вид через Винчестерский пролет в сторону Мэриленда в 1933 году. (Фото любезно предоставлено Национальным историческим парком Харперс-Ферри.)

Возможно, именно из-за того, что у него не было возможности прокатиться, Боллман поделился своей идеей с Ривзом, хотя это кажется нелогичным. Как бы то ни было, Ривз и его коллеги широко запатентовали эту систему, и колонна Феникса в конечном итоге была использована практически без использования чугуновых и других типов кованых колонн. К концу 19 века он начал выходить из употребления, поскольку мельницы стали способны производить профили большего размера со свойствами, относительно благоприятными для использования колонны, и более адаптируемыми для соединения с другими элементами.

Окончательное использование фермы Боллмана

Фермы Bollman время от времени использовались не только на линиях В. & О., но, как правило, только при монтаже по контракту с Patapsco Bridge and Iron Works. Однако тот факт, что Боллман смог с прибылью возвести этот мост в условиях жесткой конкуренции 1870-х годов, указывает на то, что резкая критика системы со стороны властей такого масштаба, как Уиппл, не обязательно была оправданной. Рекламные объявления Bollman, по сути, ссылаются на положительные рекомендации других таких известных инженеров, как Герман Хаупт и М. К. Мейгс.



Рисунок 22. —Палубные фермы Боллмана на мосту Норт-Ривер, построенном в 1873 году в Маунт-Кроуфорде, Вирджиния, на железной дороге долины Вирджинии (В. & О.). Каждый конечный пролет составляет 98 футов 6 дюймов; пролет реки - 148 футов 9 дюймов. (Фото 756, Коллекция Балтимора и Огайо, Музей истории и технологий.)

Интересным применением этой системы был подъемный мост, состоящий из двух пролетов палубы Боллмана, перекинутый через рукав Миссисипи в Куинси, штат Иллинойс (см. рис. 17). Первый железный мост в Мексике был возведен Боллманом через реку Медельин около 1864 года. Другой работой того периода, привлечшей значительное внимание, была пара мостов, возведенных Боллманом через реку Кейп-Фир в Северной Каролине в 1867-1868 годах. Эти мосты отличались своим основанием на чугунных цилиндрах, опускаемых пневматически. Это был один из первых примеров использования этого процесса в Америке, и глубина в 80 футов под поверхностью воды, достигнутая одним цилиндром, долгие годы считалась замечательной.

Примерно за последнее активное десятилетие своей карьеры Боллман изготовил сотни второстепенных мостов и других сооружений. В 1873 году он поставил отливки для великолепного железного купола мэрии Балтимора и возвел хитроумную водопроводную ферму, которая перекидывает Ломбард-стрит через водопад Джонс в этом городе. В этой конструкции верхний и нижний пояса центральной линии ферменной конструкции представляют собой чугунные водопроводные сети, раздваивающиеся у устоев и соединенные литыми и коваными перемычками (см. рис. 20).

В середине 1870-х годов Боллман увидел, что его ферма пришла в негодность. Это было связано в первую очередь с общим растущим недоверием к чугуну как к основным элементам

конструкции из-за его хрупкости, но прогресс в теории конструкций, доступность большего разнообразия профилей проката и растущие нагрузки того периода - все это способствовало этому.



Рисунок 23. — Единственный сохранившийся ферменный мост Боллмана в Сэвидже, штат Мэриленд. Мост был построен в другом месте в 1852 году и перенесен на этот ныне заброшенный промышленный разъезд Балтимора и Огайо примерно в 1888 году.

Хотя ни Bollman, ни B. & O. не строили ферм Bollman после 1875 года, использовавшиеся фермы демонтировались только по мере увеличения движущей силы. Как уже отмечалось, пролет Харперс-Ферри оставался в полном рабочем состоянии до 1894 года. Фермы Боллмана на фидерных линиях продолжали использоваться гораздо позже; некоторые из них на железной дороге долины в Вирджинии (см. рис. 22) были демонтированы только в 1923 году. Однако только на самых изолированных отрогах ферме Боллмана было разрешено достичь действительно зрелого возраста. Единственный известный оставшийся пример (рис. 23) стоит на такой ветке — по иронии судьбы, в Сэвидже, над Литтл-Патуксентом, на месте первого пролета Боллмана. Это не мост 1850 года, а построенный в 1852 году и перенесенный на нынешнее место 30 лет спустя. Судьба первого пролета неизвестна.



Рисунок 24. Кувшины для горячей воды и шоколада в серебряном чайном сервизе из 10 предметов, подаренном Боллману его коллегами по работе, когда он уволился из Балтимора и Огайо в 1858 году. Повсюду использовался мотив железной дороги, каждая деталь была обведена сверху и снизу рельсами в комплекте с рельсами точного сечения и шпалами. Носики выполнены в виде шестигранных дымоходов из листового железа с заклепанными швами, а ручки выполнены в виде геодезической подзорной трубы. На различных деталях выгравированы рисунки наиболее важных Б. и О. мостов. Повсюду замечательное изобилие деталей и предметов railroadiana в виде низкого рельефа, высокого рельефа и полностью смоделированных. В зале Совета директоров Железнодорожной компании Балтимора и Огайо, Балтимор, Мэриленд. (Фото любезно предоставлено железной дорогой Балтимора и Огайо.)

Известные работы Боллмана

(Все перечисленные строительные работы были спроектированы Боллманом и построены железной дорогой, если не указано иное.)

Даты предоставления услуг	Местоположение	Тип	Количество пролетов / длина каждого	Примечания
1850-?	Сэвидж,	Боллман через	1/76'	Возведена

	Мэриленд, Литтл-Патуксент-Ривер	ферму		первая ферменная конструкция Боллмана; гранитные башни;стоимость , 23 825 долларов. Б. и О. Р.
1851—?	Бладенсбург, Мэриленд, река Анакостия	Боллман через ферменную конструкцию	1 /?	Возведена вторая ферменная конструкция Боллмана; гранитные башни; стоимость, 19 430 долларов. Б. и О. Р.
1851-1862	Харперс-Ферри, Вирджиния, Потомак Река	Боллман через ферму	1/124'	Винчестерского пролета; первая крупная ферма Боллмана; три ряда ферм; гранитные башни; взорван армией Конфедерации 24 сентября 1862 г. Б. и О. Р.
1851-?	Балтимор, Мэриленд,	эстакада	-	Деревянные эстакады с коваными диагоналями. Впервые железные элементы конструкции были использованы в эстакадах. Общая длина 76 футов. Б. и О. Р.
1852 г. -	Сэвидж, Мэриленд, река	Боллман через ферму	2 /?80'	Все еще стоит. Переехал в

	Литтл-Патуксент			Сэвидж в 1888 году; первоначальное местонахождение неизвестно. В этой и последующих фермах Боллмана используются железные башни. В & О. RR.
1852 (или 1853)-?	Марриотсвилл, Мэриленд, река Патапско	ферма Боллмана	1/50'	Одна из первых ферм Боллмана с железными башнями. В. & О. Р.
1853-?	Зейнсвилл, Огайо, река Маскингам	Ферма Боллмана	4/124' (или 5/160')	Двухпутная, Центральный округ Огайо. Спроектирован Боллманом; построен Douglas, Smith & Co., Зейнсвилл.
1854-1870 (?)	Элисвилл (ныне Дэниелс), Мэриленд, река Патапско	Боллман через ферму	3/97'9"	Верхний мост, перекус. Стоимость, \$ 24 477,59. Б. и О. Р.
1854-1862	Монокейси, Мэриленд, река Монокейси	ферма Боллмана	3/119'	Взорван 8 сентября 1862 г.; восстановлен в 1864 г. Стоимость, \$ 22 722,59. В. & O.R.R..
1854-?	Ферма Боллмана в Восточном Огайо	(?)	1/40'	К.О.Р. Секция 76, примыкающая к 300-футовому туннелю.
1855-?	Бриджвилл, Огайо, Солт-Крик.	Ферма палубы Боллмана	1/71'	К.О.Р.
До 1855-?	Буффало, Нью —	—	-	Личность не

	Йорк			установлена. Упоминается Джорджем Воузом в журнале Railroad Advocate (9 июня 1855 г.).
1856-?	Элисвилл, Мэриленд, примерно в 1-1 / 4 милях к востоку от моста 1854 года, река Патапско	Боллман через ферму	3/111'	Нижнего моста. Б. и О. Р.
До 1856 года-?	Марриоттсвилл, Мэриленд.	Ферма Боллмана (?)	1/48'9"	Упоминается как "Туннельный мост" в годовом отчете В. & О. R. R. за 1856 год.
1856-?	Близ Иджамсвилла, Мэриленд, Буш- Крик	Железные балки	3/23'9"	Возможно, стропильные балки; упоминается в годовом отчете В. & О. R. R. за 1856 год.
1856-?	Близ Иджамсвилла, Мэриленд, Буш- крик	Железные балки	2/23 '9"	Как указано выше.
1856-ок.1862	Норт-Бранч, Мэриленд, река Потомак	Палубная ферма Боллмана	3/142"	Частично разрушена во время гражданской войны. Б. и О. Р.
1860-1906	Чили, река Ангостура	Ферма Боллмана (?)	4/115"	Чилийские железные дороги. Спроектирован и построен компанией Bollman. Заменен мостом, построенным

				французской фирмой Schneider, Cruesot & Co.
1860-1910	Чили, река Пейн	Ферма Боллмана (?)	1/?	Как указано выше.
После 1860 года- ?	Илчестер, Мэриленд, река Патапско	Боллман через ферму	1 /?	Б. и О. Р.
До 1861 г.-?	Кубе	Мосты и здание вокзала	-	Все мосты в районе Гаваны, включая айрон Стейшн хаус и мост в Гинесе. Спроектирован и построен компанией Bollman.
До 1861 года-?	Мосты	Кубы	-	Все мосты на Сьенфуэгос, Карденас, Гавана и Матансас. Спроектирован и построен компанией Bollman.
До 1861 года-?	Куба	Эстакада	-	Эстакада с колоннами из кованого железа (первая из когда—либо построенных). Гаванский округ. Спроектирован и построен Боллманом.
1862-1862	гг. Харперс- Ферри, Вирджиния, река Потомак	Боллман через ферму	2/160'	Пролет № 3 (24 июля) и пролет № 4 (21 августа). Взорван 24 сентября 1862 г. Б. и О. Р.
1862-1936	Харперс-Ферри, Вирджиния, река	Боллман через ферму	1/160'	Пролет № 5 (ноябрь). Б. и О.

1863-1936	Потомак Харперс-Ферри, Вирджиния, река Потомак	Боллман через ферму	3/160'	Р. Пролеты № 3, 4 и 5. Построен до апреля 1863 г. Б. и О. Р.
1863-?	Бервин, Мэриленд, малярное отделение	фермы Боллмана(?)	?	Железный мост упоминается в ежегодном отчете В. & О. R. R. за 1863 г.
1863(4?)-?	Клинтон, штат Айова, река Миссисипи,	Поворотная линия	1/360'	, построенная Detroit Bridge & Iron Works. На момент завершения строительства он был самым длинным в мире. Спроектирован Боллманом.
1864-?	Лорел, Мэриленд, Патаксент-Ривер	Ферма Боллмана	?	Заменена размытая каменная арка. Б. и О. Р.
ок. 1864-?	Недалеко от Веракруса, Мексика, река Медельин	Боллман через ферму	1/115'	Веракрус и Хукаро, округ Колумбия. Первый железный мост в Мексике. Спроектирован и построен Боллманом.
1864-?	Близ Пойнт-оф- Рокс, Мэриленд, Бэк-Крик	Ферма Боллмана (?)	1/80'(?)	Железный мост, упомянутый в годовом отчете В. & О. R. R. за 1864 год. Указана длина пролета предыдущей каменной арки.
1864-?	Бладенсбург, Мэриленд, река Анакостия	Ферма Боллмана	1/?	Пролет для второго пути, соответствующи

1868-?	Кейп-Фир, Северная Каролина, Северо-восточный филиал, река Кейп-Фир	Ферма Боллмана (?)	2/146'6" 1/164' шарнирная тяга / 150'	й пролету 1851 года. B. & O. R.R.. Wilmington Railway Bridge Co. Этот мост был соединен с мостом через Северо-Западное ответвление деревянной эстакадой длиной 2-1 / 2 мили. Спроектирован и построен Боллманом.
1868-?	Кейп-Фир, Северная Каролина, Северо-западный филиал, река Кейп-Фир	Ферма Боллмана (?)	1/217' (?) разворота/150'	См. Выше.
1868-?	Куинси, Иллинойс, залив Куинси (на реке Миссисипи)	Ферма палубы Боллмана	4/85"разворота /190"	Чикаго, Берлингтон и Куинси, округ Колумбия. Поворотная тяга была сформирована из двух 85-футовых простых пролетов палубы Боллмана, внешние концы которых свисали со свинцовых цепей. Спроектирован Боллманом; построен компанией Detroit Bridge & Iron Works.

1869-ок.1892	Балтимор, Мэриленд, над Джонс-Фолс, Б. О. Р., и Северная Центральная часть г.	Ферма Уоррена	2/100' 2/55'6"	Мост Норт-авеню. Составная ферма с двойным пересечением; верхний пояс и стойки из дерева, нижний пояс и стяжки из кованого железа. При 55-футовых пролетах оба пояса деревянные. Стоимость 73 588 долларов. Построен Боллманом.
ок.1869-1936 гг.	Харперс-Ферри, Вирджиния, Потомак-река	Боллман через ферму	4 /?	Пролет канала (№ 8), Широкий пролет (№ 2), пролет Винчестера и пролет Вест-Энда. Разрушен наводнением в 1936 году. Б. и О. Р.
1870-.1895	Балтимор, Мэриленд, Джонс-Фоллс	Железная "Изометрическая ферма" (вероятно, типа Пратта)	1/108'	мост Чарльз-стрит. Три линии обвязки.Стоимость - 20 297 долларов. Построен Боллманом.
1870-1893 и 1900	Беллер, Огайо-Бенвуд, Западная Вирджиния, река Огайо	Ферма палубы Боллмана	9/107'-125'	На подходах; 2 пролета со стороны Огайо; 7 со стороны Западной Вирджинии. Б. и о. Р.
1870-ок.1895	Белпре, Огайо-Паркерсбург, Западная	Ферма палубы Боллмана	16 /?	На подходах; 7 пролетов со стороны Огайо; 9

	Вирджиния, река Огайо			со стороны Западной Вирджинии. Б. И О. Р.
1870-?	Элисвилл, Мэриленд, река Патапско	Боллман через ферму	4 /?	Перекося; замена верхнего моста (?). Б. и О. Р.
1871-ок.1895	Балтимор, Мэриленд, Джонс Фолс	Деревянные и железные фермы	?	Декер-стрит (ныне Мэриленд- авеню) Мост. Стоимость: 24 975 долларов. Построен Боллманом.
1871-ок.1892	Балтимор, Мэриленд, на севере Центральной части штата. на мосту	Норт-авеню у Джонс-Фоллс	ферма Уоррена	1/100 футов. Составная ферма с двойным пересечением; чугунный верхний пояс и стойки; кованый нижний пояс и стяжки. Западный пролет. Построен Боллманом.
1873-1923	Станция Кейв, Вирджиния, Миддл-Ривер	Ферменная конструкция палубы Боллмана	1/98'7" 1/63'5"	Железная дорога долины Вирджинии (В. & О.) Мост № 120. Главный пролет представлял собой ферму из Уиппл-палубы. Заменен пластинчатыми балками. Спроектирован Боллманом.
1873-1923	Маунт-Кроуфорд, Вирджиния, Норт-Ривер	Ферменная конструкция палубы Боллмана	2/98'6" 1/148'9"	Железная дорога долины Вирджинии (В. & О.) Мост № 117. Спроектирован

1873-1923	Верона, Вирджиния, Северная река	Ферменная конструкция палубы Боллмана	3/98'7"	Боллманом. Железная дорога долины Вирджинии (B. & O.) Мост № 129. Главный пролет составлял 147 футов. Ферменная конструкция палубы Уиппла. Разработан Боллманом.
1873-?	Уодсвилл, Вирджиния, Опекон-Крик	Сквозная ферма Боллмана	1/147'8"	Указана длина пролета предыдущего деревянного пролета, который сгорел в 1862 году. B. & O. R.R.
ок. 1873-	Балтимор, Мэриленд.	Железные фермы крыши	?	Первая пресвитерианска я церковь. Построен Боллманом; возможно, спроектирован им.
1873 -	Балтимор, Мэриленд.	Чугунная лестница		мэрии. Стоимость - 12 840 долларов. Спроектирован Джорджем А. Фредериком, архитектором; построен Боллманом.
1873 -	Балтимор, Мэриленд.	Чугунный каркасный		купол Городского зала. Стоимость - 70 525 долларов. Спроектирован Джорджем А. Фредериком; построен

1875-ок.1913	Балтимор, Мэриленд, Джонс Фолс	Железная ферма	1/?	Боллманом. Мост Файет-стрит. Стоимость: 9 396 долларов. Построен Боллманом.
1876-ок.1913	Балтимор, Мэриленд, Джонс Фоллс	Однобалочный железный мост (ферменный?)	1/?	Кантон-авеню (ныне Флит-стрит) Бридж. Стоимость - 8 904 доллара. Построен Боллманом.
1876-ок.1913	Балтимор, Мэриленд, Джонс-Фолс	Однобалочный железный мост (ферменный?)	1/?	Мост Истерн-авеню. Стоимость - 12 382 доллара. Построен Боллманом.
1877 -	Балтимор, Мэриленд, Джонс Фоллс	ферма Пратта и тетивы	1/88'6"	Мост Ломбард-стрит. Три ряда ферм; две внешние фермы, составные из литого и кованого железа многоугольного типа Pratt; центральная композитная тетива с перемычкой Pratt-system. Обе хорды представляют собой чугунные водопроводные сети с раздвоением на концевых опорах; чугунные стойки и кованые стяжки. В эксплуатации.

				Стоимость 7 632 доллара. Разработан Jas. Карран, департамент водоснабжения Балтимора; построен Боллманом.
1877-ок.1913	Балтимор, Мэриленд, Джонс-Фолс,	Железная ферма	1 /?	Мост Бат-стрит. Стоимость - 4 172 доллара. Построен Боллманом.
1879-?	Балтимор, Мэриленд.	Разводной мост	1/?	Над входом в городской док. Стоимость: 13 182 доллара. Построен Боллманом.
1879-ок.1930	Балтимор, Мэриленд, над водопадом Джонс и железнодорожными путями	Ферма Уоррена	2/173'9"	Северная улица (ныне Гилфорд-авеню) Мост. Составные фермы; чугунный верхний пояс и концевые стойки; кованый нижний пояс и перемычки. Стоимость 38 772,45 долларов. Построен Боллманом; спроектирован Латробом.
1881-1960	Балтимор, Мэриленд, (Вудберри), Джонс Фоллс	Ферменная конструкция Пратта из кованого железа	1 /?	Мост Юнион-авеню. Построен Боллманом; возможно, спроектирован им.
?-?	Харперс-Ферри, Вирджиния, Арсенальный	Боллмана через ферму	1/148'	Arsenal Branch, B. & O. RR. Наклонного типа.

	канал			Длина пролета равна длине предыдущего деревянного пролета.
?-?	Балтимор, Мэриленд, Гвиннс Фоллс	Боллман через ферму	2 /?	B. & O. R.R.

БИБЛИОГРАФИЯ

История и описание железной дороги Балтимор-Огайо жителем Балтимора. Балтимор, 1853.

Железнодорожная компания Балтимора и Огайо. Список офицеров и служащих железной дороги Балтимора и Огайо за ноябрь 1857 года. Балтимор, 1857 год.

----. *Третий ежегодный отчет президента и директоров перед акционерами железнодорожной компании Балтимора и Огайо.* Балтимор: 1829 год. (Также с четвертого по 38-й годовые отчеты. Балтимор, 1830-1864.)

----. *Выставки в Балтиморе и Огайо в рамках Столетия прогресса.* Чикаго, 1934.

Биографическая энциклопедия представителей мужчин Мэриленда и округа Колумбия. Балтимор, 1879.

Боллман, Вендель. *Железный подвесной и ферменный мост, построенный для железнодорожной компании Балтимора и Огайо в Харперс-Ферри и на вашингтонском ответвлении этой дороги.* Балтимор, 1852 год.

----. Письмо Джону У. Гарретту от 17 июня 1862 года. В архивах Отдела машиностроения и гражданского строительства Национального музея США, Вашингтон, Округ Колумбия

----. *Отчет г-на Боллмана по поводу Центральной железной дороги штата Огайо.* Балтимор, 1854 год.

Брайант, Уильям К. *Живописная Америка.* Нью-Йорк, 1874.

Кларк, Томас Кертис. *Рассказ о железном железнодорожном мосте через реку Миссисипи в Куинси, штат Иллинойс.* Нью-Йорк, 1869 год.

Колберн, Зера. *Американские железные мосты. Протоколы заседаний Института инженеров-механиков* (1863), том 22, стр. 540-573.

Кондит, Карл. *Американское строительное искусство: девятнадцатый век.* Нью-Йорк: Оксфорд Пресс, 1960.

Грей, Джордж Э. *Заметки о ранней практике мостостроения. Труды Американского общества инженеров-строителей* (1897), том 37, стр. 2-16.

Greiner, John E. Виадук американской железной дороги — Его происхождение и эволюция. *Труды Американского общества инженеров-строителей* (1891), том 25, стр. 349-372.

Лэнг, Филип Джордж. Фермы Боллмана в филиале Valley of Virginia скоро станут воспоминаниями. *Журнал "Балтимор и Огайо"* (октябрь 1923 г.), стр. 18-19.

----. Старый мост Балтимора и Огайо, пересекающий реку Потомак в Харперс-Ферри, Западная Вирджиния. *Engineering News-Record* (17 сентября 1931 г.), стр. 446.

Malezieux, Emile. *Travaux publics des Etats-Unis d'Amerique en 1870*. Париж, 1873.

Макдауэлл, У. Х. Неопубликованный отчет инженера президенту и директорам Wilmington Railway Bridge Company, Уилмингтон, Северная Каролина, от 12 марта 1868 года.

Машинописная копия в архиве Отдела машиностроения и гражданского строительства Национального музея США, Вашингтон, Округ Колумбия

Смит, Чарльз Шалер. *Сравнительный анализ ферм Финка, Мерфи, Боллмана и треугольных ферм*. Балтимор, 1865.

Смит, Уильям П. *Книга о великих железнодорожных торжествах 1857 года*. Балтимор, 1858 год.

Тиррелл, Генри Г. *История мостостроения*. Чикаго, 1911.

Уиппл, сквайр. *Строительство моста*. Олбани, Нью-Йорк, 1869 год.

ТИПОГРАФИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА США: 1964 г.

Продается Суперинтендантом документации, Типография правительства США

Вашингтон, округ Колумбия, 20402 - Цена 70 центов
